

アルミボトル口径の飲みやすさ評価法に関する基礎的研究：第2報 飲みやすさ評価関数の提案

著者	茅原 崇徳, 山崎 光悦
雑誌名	Nihon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen/Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Part C
巻	75
号	755
ページ	2501-2508
発行年	2009-07-01
URL	http://hdl.handle.net/2297/19914

アルミボトル口径の飲みやすさ評価法に関する基礎的検討*

(第2報：飲みやすさ評価関数の提案)

茅原崇徳^{*1}，山崎光悦^{*2}

A Fundamental Study on Evaluation Method for Drinking Ease of Aluminum Beverage Bottle (2nd Report: A Proposal on Evaluation Function of Drinking Ease)

Takanori CHIHARA^{*3} and Koetsu YAMAZAKI

^{*3} Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University,
Kakuma-machi, Kanazawa, Ishikawa, 920-1192, Japan

Aluminum beverage bottles with a screw top of 28-mm and 38-mm in diameter have been launched on to the Japanese market recent years to meet new drinking custom trend of the consumers. However, some Japanese customers feel that the 28-mm opening is too small and also feel that the 38-mm opening is too large. Therefore, it is desired to develop a method to evaluate human feelings when drinking directly from the bottle opening and to identify the opening size that is best for consumers' drinking ease. Hence, we proposed an evaluation function of drinking ease in order to identify the rigorous dimension of bottle opening. The evaluation function of drinking ease has been proposed in terms of the difference between the actual flow amount from the bottles and the appropriate flow amount. If the difference decrease, the consumers possibly feel comfortable. Three variables (the bottle opening size, the beverage amount in the bottles, and the height of subjects) have been considered and the evaluation function of drinking ease has been constructed using Radial Basis Function Network. Results from the optimization of the proposed function, the subjects may get the closest beverage amount to the appropriate amount and feel comfortable when they drink from the 34.3-mm opening. It has been identified the dimension of the opening diameter that the subjects may feel comfortable using the proposed function.

Key Words: Human Engineering, Optimum Design, Engineering Optimization, Drinking Ease, Aluminum Beverage Bottle

1. 緒 言

近年，工業製品に対して機能や性能だけでなく，使いやすさが求められるようになり，そのための工学的な取り組みとして人間工学や感性工学が用いられている．また，ユニバーサルデザインの観点からも，年齢や性別に拘らず使用する人間が快適に感じる製品を設計することが，製品開発で重要な要素である．

年齢や性別に拘らず使用され，使いやすい設計を行うことが必要と考えられる製品の一例として，キャップ付きアルミボトルやペットボトルなどの飲料用容器類が挙げられる．このうち，アルミボトルは再栓可能

な容器として2000年に登場し，リサイクル性が良いなどの利点から，今後の更なる需要の拡大が見込まれる飲料用容器である⁽¹⁾⁽²⁾．現在，主に市場に流通しているアルミボトルは口径が $\phi 28$ のものと $\phi 38$ のものの二種類である．しかし，この二種類では口径が小さすぎて，あるいは大きすぎて飲みにくいという意見を耳にする．誰でも，あるいは大多数が「飲みやすい」と感じるアルミボトルを設計するために，飲みやすさの評価法を確立することが望まれる．

著者らは，アルミボトルの飲みやすさを評価することを目的とし，図1に示す口径の寸法が異なる三種類のアルミボトル（ $\phi 28$ ， $\phi 33$ ， $\phi 38$ ）を対象に緑茶を用いて官能評価実験と三次元流動解析を行った⁽³⁾．アンケートの統計解析から，被験者にとって適切だと感じる流出量が存在すると予測される結果が得られた．ま

*原稿受付 2008年11月6日

^{*1} 正員，金沢大学大学院（〒920-1192 石川県金沢市角間町）

^{*2} 正員，フェロー，金沢大学大学院自然科学研究科

E-mail: chihara4@stu.kanazawa-u.ac.jp

た、官能評価実験の結果を因子分析した結果から、飲みやすさは「流出量の因子」と「調節性の因子」で構成されていることを確認した。さらに、中間の口径が最も飲みやすいとする評価結果を示した。しかし、飲みやすいと感じるアルミボトルを設計するためには、飲みやすいと感じる口径寸法をより厳密に特定することが必要である。飲みやすさは二つの因子で構成されていることから、至適流出量と調節性の評価を加味した飲みやすさ評価関数を定義することで、飲みやすい口径寸法を特定することが可能であると予測される。

飲料用容器の設計に最適化を導入した例としては、アルミボトルの底部の形状最適化を行った研究⁽⁴⁾や、プラスチックボトルの形状と肉厚分布の最適化を行った研究⁽⁵⁾などがある。しかし、これらの研究は飲料用容器の機械的性能を評価関数として定式化したものであり、「飲みやすさ」のように消費者の感覚を評価関数として定式化し、飲料用容器の設計法について検討を行った研究は見当たらない。

そこで本論文では、飲みやすさ評価関数の定式化法について提案し、最適化を行った結果の例について報告する。具体的には、前報での結果を基に至適流出量と調節性の評価からなる飲みやすさ評価関数を Radial Basis Function Network⁽⁶⁾（以下、RBFN と略称）を用いて定式化した。次に、被験者が飲料を飲む際に口に含む容量と、飲料を飲む際の動作の計測を行い、計測したデータを用いて飲みやすさ評価関数を作成し、被験者が飲みやすいと感じると予測される口径寸法について検討を行った。

2. 飲みやすさ評価関数

2・1 飲みやすさ評価関数の定義 前報の結果から、飲みやすさは流出量の因子と調節性の因子で構成されていることを確認した。したがって、二つの因子の評価を加味した飲みやすさ評価関数を定義することで、飲みやすいと感じる口径寸法を厳密に特定することが可能であると予測する。

前報の官能評価実験において、アンケートの統計解

析から、被験者にとって飲みやすいと感じる適切な流出量が存在すると判断できる結果が得られた。これは、アンケートを因子分析して得られた因子の中に、流出量の因子が含まれていたことから裏付けられる。したがって、アルミボトルを用いて飲料を飲む際に、ボトルの飲み口から得られる流出量が理想値に近づくことで、人間は飲みやすいと感じると考えられる。しかし、実際にアルミボトルを用いて飲料を飲む際に得られる流出量は、必ずしも理想値と一致しない。そこで、飲みやすさ評価関数を「口に含んだ飲料の容量と理想値との差」と定義する。この値が小さいほど、飲みやすいと感じる適切な流出量に近いことを表す。

ただし、飲み方（ボトルを傾ける角度や速度）が変わると、ボトルの飲み口から得られる飲料の容量は変化すると予測される。また、人間の動作は誤差を伴うため、厳密には常に同じ飲み方をしているとは考え難い。したがって、人間がボトルの飲み口から得る飲料の流出量は、ある範囲でばらつくと考えられる。飲む動作の不確実性や、それに起因する流出量の変化の大きさが、前報の因子分析で推定された調節性であると考えられる。そこで、飲みやすさ評価関数の定義である「口に含んだ飲料の容量と理想値との差」において、「口に含んだ飲料の容量」のばらつきを考慮することで、調節性を加味した評価関数を定義する。

2・2 個人差を表す変数の抽出 飲みやすさ評価関数を定式化するためには、影響を与える変数を抽出する必要がある。ひと口の容量には、口径寸法と残存液量が強く影響すると考えられる。さらに、ひと口の容量が個人差により変化することも予測される。したがって、飲みやすさ評価関数の定式化において、口径寸法と残存液量に加えて個人差を表す代表的な変数を抽出することが必要である。また、個人差を表す方法の一つとして、人体の代表寸法を使用することが挙げられる。そこで、個人差を表す人体寸法を決定するために、ひと口の容量と人体寸法を計測し、両者の相関関係から使用する人体寸法について検討した。

ひと口の容量と人体寸法の計測は、14 名（男性 10 名、女性 4 名）の健常な 20 代の学生を対象に室内で行った。被験者には図 2 に示すように椅子に座った状態でアルミボトルに入った飲料（緑茶）をひと口飲むように指示し、ひと口の容量を計測した。実験には前報と同様に口径寸法の異なる三種類の 300ml 用のアルミボトル（ $\phi 28$, $\phi 33$, $\phi 38$ ）を使用し、残存液量を 100, 200, 300ml と変化させてひと口の容量の計測を行った。また、被験者の人体寸法の計測も併せて行った。ひと口の容量と関係がある人体寸法として、口の寸法が考

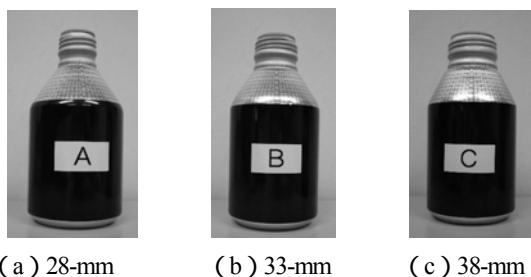


Fig.1 Aluminum beverage bottle samples

えられる．また，身長は人間の全体のサイズを規定する人体寸法であり，一回嚥下量との相関が存在するという報告がある⁽⁷⁾．したがって，ひと口の容量と身長の間にも相関関係が存在する可能性がある．そこで，文献(8)で定義されている口の寸法である口裂幅(口の幅)と全赤唇高(唇の高さ)および身長を計測した．口裂幅，全赤唇高，および身長の測定箇所を図3に示す．

計測結果を図4に示す．横軸は各人体寸法の大きさであり，縦軸はひと口の容量である．また，図中の r は各人体寸法とひと口の容量との相関係数である．図4より，口裂幅とひと口の容量との相関係数は0.232，全赤唇高とひと口の容量との相関係数は0.003であり，口のサイズとひと口の容量との相関は弱いことが確認できる．他方，身長とひと口の容量との相関係数は0.560であり，身長とひと口の容量との間には相関が存在すると判断できる．また，両者の相関は有意水準1%で有意である．そこで，個人差を表す変数として身長を使用し，飲みやすさ評価関数を定式化した．

2・3 飲みやすさ評価関数の定式化 三つの変数のうち，口径寸法は設計変数であり，残存液量と身長はある特定の範囲内で変動する状態変数とする．また，飲みやすさ評価関数は，与えられた状態変数の範囲で最も飲みやすいと感じる口径寸法を評価する関数として定義する必要がある．そこで，飲みやすさ評価関数 F を以下のように定義した．

$$F(x_1) = \int_{x_{2\min}}^{x_{2\max}} \int_{x_{3\min}}^{x_{3\max}} \{O(x_1, x_2, x_3) P_{x_3}(x_3)\} dx_3 dx_2 \quad (1)$$

ここで， x_1, x_2, x_3 は，それぞれ口径寸法，残存液量，身長であり $x_{2\min}$ と $x_{2\max}$ は残存液量の最小値と最大値， $x_{3\min}$ と $x_{3\max}$ は身長の最小値と最大値である． $P_{x_3}(x_3)$ は身長の分布を基に設定した重み関数である．身長の分布が正規分布に従うと仮定すると，文献(8)の統計データから身長の確率密度関数は図5のようになる．この確率密度関数の最大値が1.0となるような関数を作成し，重み関数 $P_{x_3}(x_3)$ として使用した．本論文で対象

とするアルミボトルは不特定多数の消費者に使用される製品であることから，最も一般的な分布形状である正規分布を身長の分布として仮定した．対象とする製品が特定の消費者層が使用することを想定している場合など，個人差を表す変数の分布が正規分布とは大きく異なる可能性がある場合は，分布形状を正確に予測



Fig.2 Measurement of one mouthful beverage amount

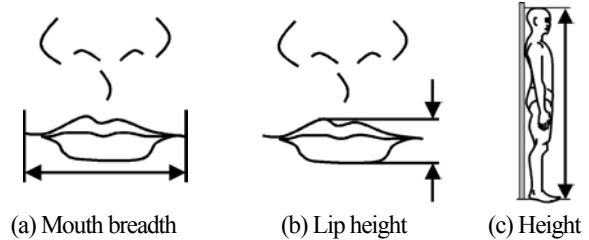
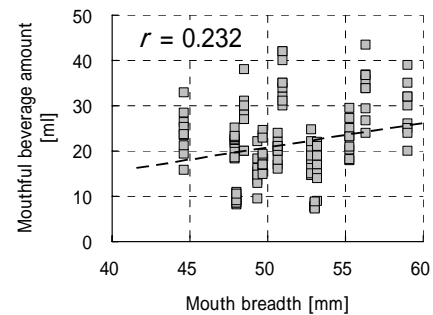
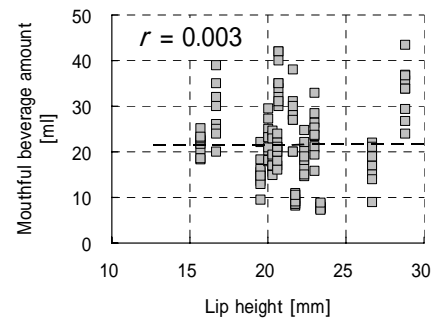


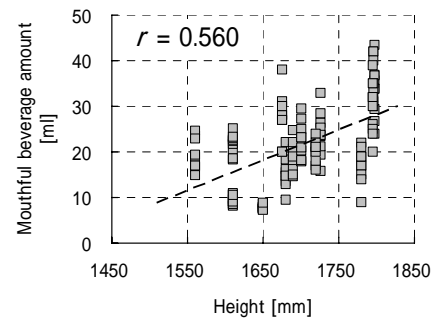
Fig.3 Dimensions of human body⁽⁸⁾



(a) Mouth breadth



(b) Lip height



(c) Height

Fig.4 Relationships between one mouthful beverage amount and dimensions of human body

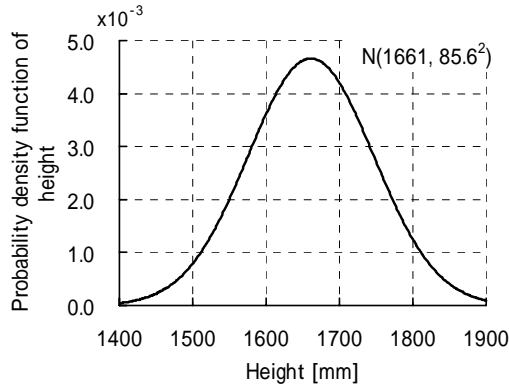


Fig.5 Distribution of height

して重み関数を作成することが必要である。

また、 $O(x_1, x_2, x_3)$ は RBFN の出力値である。その詳細については付録に記載する。RBFN による応答曲面の作成において、教師値を三つの変数とし、応答値はひと口の容量と理想値との差とした。つまり、 $O(x_1, x_2, x_3)$ は、特定の口径寸法、残存液量、身長が与えられた際に、ひと口の容量と理想値との差を決定する関数である。式 (1) の値が小さいほど、与えられた状態変数（残存液量と身長）の範囲内で口に含んだ飲料の容量が理想値に近く、飲みやすいと感じることを表す。

2・4 調節性の考慮 2・1 で述べたように、人間がアルミボトルの飲み口から得るひと口の飲料の容量は常に一定の値となるのではなく、飲む動作の不確実性によってある範囲でばらつきと予測される。そこで、ひと口の容量のばらつきを考慮するため、RBFN の入力データの応答値を次式のように定義した。

$$y_{ijk} = \int_{x_{4\min,k}}^{x_{4\max,k}} \int_{x_{5\min}}^{x_{5\max}} \left\{ \bar{V}_{ijk} + \Delta V_{ijk}(x_4, x_5) - V_{ideal} \right\} \cdot P_{x_4,ijk}(x_4) \cdot P_{x_5,ijk}(x_5) dx_5 dx_4 \quad (2)$$

ここで、 i, j, k はそれぞれ、 i 番目の被験者、 j 番目の口径寸法、 k 番目の残存液量を表している。 x_4 は被験者がアルミボトルを傾けて飲料を飲む際のボトルの最大傾斜角であり、 x_5 はボトルを傾け始めから、ボトルの傾斜角が最大傾斜角に達するまでの時間（回転時間）である。ただし、図 6 に示すように、アルミボトルの中心軸と水平面がなす角を傾斜角と定義した。本研究では、予備実験の結果を基に、最大傾斜角と回転時間を飲む動作を規定する変数として用いた。

予備実験では、数名の被験者に図 1 に示した三種類のアルミボトルを用いて室内で緑茶をひと口飲んでもらい、その様子を撮影し、アルミボトルの傾斜角変化

を計測した。口径寸法が 33mm のアルミボトルを用いた計測結果の一例を図 7 に示す。図 7 から、傾け始めから約 2.0 秒後までは傾斜角の変化をほぼ線形とみなすことができるが、その後は次第に角度変化が減少していき、傾斜角の変化が非線形となることが確認できる。これは、傾け始めてから一定の角速度でボトルを傾けていき、飲料が口の中に流れ込む前後で角速度を減少させ、飲料の流出量を調節していることを裏付ける。他の被験者の傾斜角の変化も、図 7 と同様であった。傾斜角の変化が非線形となる部分が存在するが、ほぼ線形とみなすことができることから、本研究では簡略化のため角度変化の非線形部分を無視し、最大傾斜角と回転時間を飲む動作を規定する変数として用いた。

$x_{4\min,k}$ と $x_{4\max,k}$ は k 番目の残存液量の最大傾斜角の最小値と最大値であり、 $x_{5\min}$ と $x_{5\max}$ は回転時間の最小値と最大値である。ここで、最大傾斜角は残存液量に依存するため、残存液量ごとに個別に設定した。また、

\bar{V}_{ijk} はひと口の容量の平均値であり、 V_{ideal} はひと口の

容量の理想値である。宮岡らは被験者 136 名に対して一回の至適嚥下量を調査しており、その平均値は約 18ml である⁹⁾。そこで、被験者が口に含んだ飲料を複数回に分けて嚥下する可能性があることを考慮し、18ml の倍数を理想値とした。つまり、図 8 に示すように、ひと口の容量の平均値に最も近い 18ml の倍数を理想値とした。厳密には至適一回嚥下量は一意には決まらず、身長などの人体寸法と関係がある可能性がある。しかし、被験者の確保が困難であることや、至適一回嚥下量の厳密な特定自体が難しいことなどの理由から、本論文では至適一回嚥下量を一定値とし、その倍数を理想値として用いた。

$\Delta V_{ijk}(x_4, x_5)$ は飲む動作の変動による流出量の変化分であり、次式で与えられる。

$$\Delta V_{ijk}(x_4, x_5) = Q(x_1, x_2, x_4, x_5) - Q(x_1, x_2, \bar{x}_{4,ijk}, \bar{x}_{5,ijk}) \quad (3)$$

ここで、 $Q(x_1, x_2, x_4, x_5)$ は流出量関数で、飲み口から流出する飲料の総容量を表す。流出量関数の近似方法については後述する。また、 $\bar{x}_{4,ijk}$ と $\bar{x}_{5,ijk}$ は最大傾斜角と回転時間の平均値である。つまり、式 (3) は基準となる流出量からの変動分を表している。したがって、式

(2) 内の $\left| \bar{V}_{ijk} + \Delta V_{ijk}(x_4, x_5) - V_{ideal} \right|$ は、被験者の飲む

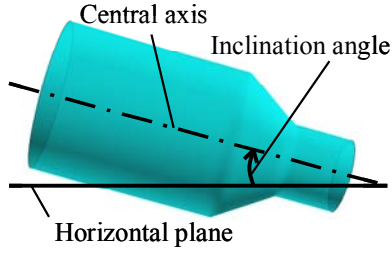


Fig.6 Definition of inclination angle

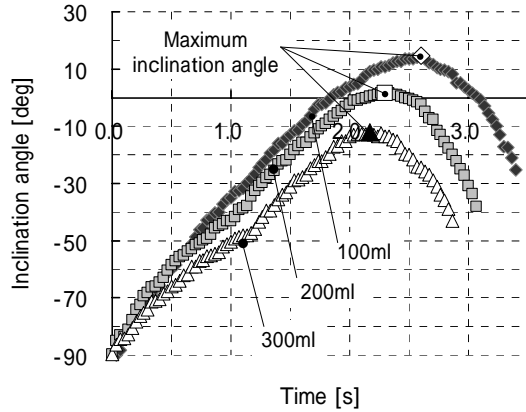


Fig.7 History plots of inclination angle

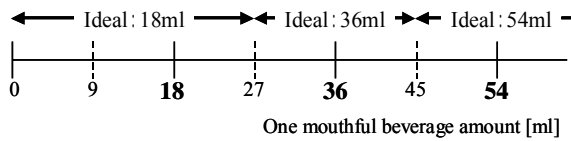


Fig.8 Decision of ideal beverage amount

動作の不確実性による容量の増減を考慮したひと口の容量と、ひと口の容量の理想値との差を表している。

$P_{x_4,ijk}(x_4)$ と $P_{x_5,ijk}(x_5)$ は、最大傾斜角と回転時間の分布が正規分布に従うと仮定して設定した重み関数であり、次式で与えられる。

$$P_{x_4,ijk}(x_4) = \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma_{x_4,ijk}^2}(x_4 - \bar{x}_{x_4,ijk})^2\right\} \quad (4)$$

$$P_{x_5,ijk}(x_5) = \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma_{x_5,ijk}^2}(x_5 - \bar{x}_{x_5,ijk})^2\right\} \quad (5)$$

ただし、 $\sigma_{x_4,ijk}^2$ と $\sigma_{x_5,ijk}^2$ は、最大傾斜角と回転時間の分散である。式(4)と式(5)は、口径寸法、残存液量、被験者ごとに個別に設定される人間の動作は複雑で、必ずしも正規分布に従わない可能性があるが、本論文では簡略化のため最も一般的な分布形状である正規分布を仮定した。したがって評価関数の信頼性をより高いものにするためには、飲料を飲む際の動作の分布形

状を明らかにし、その分布形状を反映した重み関数を設定することが必要である。

式(2)で表される値が小さいほど、想定される飲む動作のばらつきの範囲全体で、ひと口の容量が理想値に近いことを示す。

2・5 流出量関数の近似 実験計画法⁽¹⁰⁾の直交表を用いて変数の組み合わせを決定し、決定した変数の組み合わせで三次元流動解析を行い、応答曲面近似により流出量関数 $Q(x_1, x_2, x_4, x_5)$ を求めた。また、三次元流動解析には、汎用有限要素熱流体解析ソフトウェアFIDAP (Fluent Inc.)を使用した。なお、解析条件は前報と同様である。

はじめに、口径寸法 x_1 、残存液量 x_2 、最大傾斜角 x_4 、回転時間 x_5 の四つの変数の交互作用について検討するために、被験者の飲む動作の計測の予備実験の結果を基に二水準系を設定し、要因実験を行った。分散分析の結果、口径寸法と最大傾斜角、口径寸法と回転時間、最大傾斜角と回転時間の交互作用が有意であったため、これら三つの交互作用を考慮できるように四つの変数を直交表 L_{27} に割り付けた。また、飲む動作の計測の予備実験から、最大傾斜角の範囲は残存液量の違いにより変化することがわかっていたため、最大傾斜角 x_4 の水準は以下のように設定した⁽¹¹⁾。

x_4 の下限値：(x_4 の中間値) 12.5 deg

x_4 の中間値： $-\frac{3}{20}x_2 + \frac{65}{2}$ deg

x_4 の上限値：(x_4 の中間値) + 12.5 deg

また、その他の変数の範囲は以下のように与えられる。

$$28.0 \leq x_1 \leq 38.0$$

$$100 \leq x_2 \leq 300 \quad (6)$$

$$1.70 \leq x_5 \leq 5.00$$

直交表に各変数を割り付けたものを表1に示す。

表1に示す27種類の条件で三次元流動解析を行い、流出量関数の応答曲面を作成した。応答曲面は変数の交互作用を考慮した二次多項式により表現した。流出量関数の応答曲面は次式で表される。

$$\begin{aligned} Q(x_1, x_2, x_4, x_5) = & -1.27 \times 10^2 \\ & + 1.12x_1 - 3.79 \times 10^{-2}(x_1 - 3.30 \times 10^1)^2 \\ & + 4.25 \times 10^{-1}x_2 - 2.98 \times 10^{-4}(x_2 - 2.0 \times 10^2)^2 \\ & + 2.73x_4 + 7.70 \times 10^{-2}(x_4 + 1.50 \times 10^{-1}x_2 - 3.25 \times 10^1)^2 \\ & + 7.97x_5 - 1.50(x_5 - 3.35)^2 \\ & + 7.13 \times 10^{-2}(x_1 - 3.30 \times 10^1)(x_4 + 1.50 \times 10^{-1}x_2 - 3.25 \times 10^1) \\ & - 1.31 \times 10^{-1}(x_1 - 3.30 \times 10^1)(x_5 - 3.35) \\ & + 6.18 \times 10^{-1}(x_4 + 1.50 \times 10^{-1}x_2 - 3.25 \times 10^1)(x_5 - 3.35) \\ & \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

Table 1 Analysis points

Analysis points	x_1 [mm]	x_2 [ml]	x_4 [deg]	x_5 [s]
1	28.0	100	5.0	1.70
2	28.0	200	-10.0	3.35
3	28.0	300	-25.0	5.00
4	28.0	200	2.5	1.70
5	28.0	300	-12.5	3.35
6	28.0	100	17.5	5.00
7	28.0	300	0.0	1.70
8	28.0	100	30.0	3.35
9	28.0	200	15.0	5.00
10	33.0	200	-10.0	1.70
11	33.0	300	-25.0	3.35
12	33.0	100	5.0	5.00
13	33.0	300	-12.5	1.70
14	33.0	100	17.5	3.35
15	33.0	200	2.5	5.00
16	33.0	100	30.0	1.70
17	33.0	200	15.0	3.35
18	33.0	300	0.0	5.00
19	38.0	300	-25.0	1.70
20	38.0	100	5.0	3.35
21	38.0	200	-10.0	5.00
22	38.0	100	17.5	1.70
23	38.0	200	2.5	3.35
24	38.0	300	-12.5	5.00
25	38.0	200	15.0	1.70
26	38.0	300	0.0	3.35
27	38.0	100	30.0	5.00

3. 飲みやすさ評価関数の最適化

3・1 ヒト口の容量と飲む動作の計測実験 式

(1)を用いて最適化を行うために、飲料(緑茶)を飲む際に口に含む容量の計測と、飲料を飲む際の動作(最大傾斜角と回転時間)の計測を室内で行った。被験者は健常な20代の学生12名(男性8名、女性4名)であり、椅子に座った状態でアルミボトルに入った飲料をひと口飲むように指示し、ひと口の容量を計測した。実験には前報と同様に口径寸法の異なる三種類の300ml用のアルミボトル($\phi 28$, $\phi 33$, $\phi 38$)を使用し、残存液量を100, 200, 300mlと変化させてひと口の容量と最大傾斜角、回転時間の計測を行った。上記の条件で同一被験者に対し三回繰り返し実験を行った。また、被験者の身長も併せて行った。なお、被験者12名の身長の平均値は $1703 \pm 69.8\text{mm}$ (平均値 \pm 標準偏差)であり、最小値と最大値は、それぞれ1610mmと1820mmであった。

3・2 結果と考察 ヒト口の容量計測実験で得られたデータを使用し、式(1)の定義に基づいて飲みやすさ評価関数を導出した。また、設計変数と状態変数

の側面制約条件は次式で表される。

$$\begin{aligned} 28.0 \leq x_1 \leq 38.0 \\ 100 \leq x_2 \leq 300 \\ 1610 \leq x_3 \leq 1820 \end{aligned} \quad (8)$$

得られた飲みやすさ評価関数を図9に示す。式(1)が最小となる最適解は $x_1 = 34.3\text{mm}$ であり、口径寸法が34.3mmのときに与えられた状態変数の範囲内で口に含んだ飲料の容量が理想値に最も近付き、飲みやすいと感じると予測される。

次に、式(11)で与えられた身長範囲を、(a) $1610 \leq x_3 \leq 1680$, (b) $1680 \leq x_3 \leq 1750$, (c) $1750 \leq x_3 \leq 1820$ に分割し、身長の違いによる飲みやすさ評価関数の変化をグラフにしたものを図10に示す。最適解はそれぞれ、(a) 33.5mm, (b) 34.6mm, (c) 35.9mmであり、身長が高い範囲ほど最適解が大きくなることが確認できる。また、図10より、身長が高い範囲ほど、口径寸法が比較的大きい範囲の評価関数値が低くなっていることがわかる。これらの結果から、身長が高い被験者ほど、より大きい口径寸法が飲みやすいと感じる傾向があると予測される。このように、提案した評価関数を用いることで、被験者の個人差(身長)の変化に伴う飲みやすい口径寸法の変化を評価することができている。

4. 結 言

消費者が飲みやすいと感じる厳密な口径寸法を特定することを目的とし、ひと口の至適量と調節性の評価を加味した飲みやすさ評価関数について提案した。また、飲みやすさ評価関数は、口径寸法を設計変数、残存液量、身長、最大傾斜角、および回転時間を状態変数とし、RBFNを用いて定式化した。被験者のひと口の容量、最大傾斜角、および回転時間の計測結果を用いて飲みやすさ評価関数を作成した結果、最適解は34.3mmであった。したがって、20代学生の被験者全体では口径寸法が34.3mmのときに最も飲みやすいと感じると予測された。また、身長の違いによる評価関数の変化から、身長が高い被験者ほど、より大きい口径寸法が飲みやすいと感じる傾向があった。

従来のアンケートによる官能評価では飲みやすいと感じる口径寸法を厳密に特定することは困難であるが、評価関数を用いることで飲みやすいと感じる口径寸法を特定することが可能であることを示した。また、対象とする特定の消費者集団(例えば、男性向け、女性向け等)が存在する場合には、提案手法を利用して

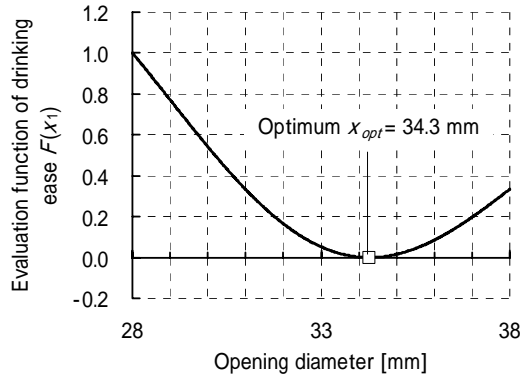


Fig.9 Evaluation function of drinking ease

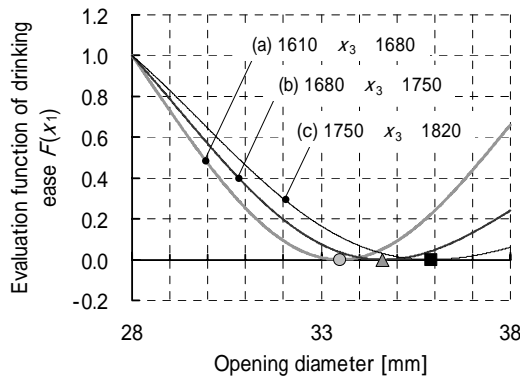


Fig.10 Evaluation function of drinking ease
(Comparison between ranges of height)

その消費者集団に即した最適解を求めることもできる。今後、被験者の数を増やすことで、提案した飲みやすさ評価関数を用いて消費者の大多数が飲みやすいと感じる口径寸法をより精度良く特定することが可能である。

本研究を遂行するにあたり、アルミボトルのサンプルの提供と貴重なご助言を頂いたユニバーサル製缶株式会社伊藤隆一氏に感謝の意を表する。

付 録

Radial Basis Function Network

RBFN は三層型のニューラルネットワークであり、基底関数の重ね合わせにより応答曲面を作成する。変数ベクトルを $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}^T$ とすると、RBFN の出力は以下の式で与えられる。

$$O(x) = \sum_{j=1}^m w_j h_j(x) \quad (9)$$

ここで、 n は変数の数、 m は中間素子数、 w_j は重みである。また、 $h_j(x)$ は基底関数であり、次式で表される。

$$h_j(x) = \exp\left(-\frac{\|x - c_j\|^2}{r_j^2}\right) \quad (10)$$

式(10)中の、 c_j は j 番目の基底関数の中心であり、本論文では文献(12)をもとに学習データと同じ点とした。また、 r_j は j 番目の基底の半径である。本論文では文献(13)での考察をもとに、変数を $[0,1]$ に正規化した後、すべての半径値を 1 とした。RBFN における学習は次式を最小化する問題となる。

$$E = \sum_{i=1}^m (y_i - O(x_i))^2 + \sum_{j=1}^m \lambda_j w_j^2 \quad (11)$$

ここで、 $x_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}\}^T$ と y_i は、それぞれ学習用入力データベクトルと、対になる教師データである。また、 λ_j は一部の素子が過剰反応するのを防ぐための重みに対する抑制項であり、データに含まれるノイズの影響を抑制することができる。本研究では $\lambda_j = 0.01$ を用いた⁽¹⁴⁾。RBFN の学習とは、式(11)を満たす重みベクトル $w = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}^T$ を求めることであり、最終的に次式で求めることができる。

$$w = (H^T H + A)^{-1} H^T y \quad (12)$$

ここで、式(12)の H 、 A 、 y は次式で表される。

$$H = \begin{bmatrix} h_1(x_1) & h_2(x_1) & \dots & h_m(x_1) \\ h_1(x_2) & h_2(x_2) & \dots & h_m(x_2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_1(x_p) & h_2(x_p) & \dots & h_m(x_p) \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$A = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_m \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$y = (y_1, y_2, \dots, y_p)^T \quad (15)$$

式(12)から明らかのように、RBFN の学習は逆行列の計算に帰着されるため、学習が非常に早く、また、追加学習等が行列演算で簡単に行えるという利点も含んでいる。詳細については、例えば文献(6)を参照されたい。

文 献

- (1) Nishiyama, S., Developing Process of All Aluminum Cans for Beverage and Problem in the Future (in Japanese), *Packpia*, Vol. 45, No. 2 (2001), pp. 10-15.

- (2) Itoh, R., Aluminum bottle cans created by a technology of aluminum cans to answer market needs of the 21st century (in Japanese), *Packpia*, Vol. 47, No. 6 (2003), pp. 16-19.
- (3) Chihara, T., Yamazaki, K. and Itoh, R., A Fundamental Study on Evaluation Method for Drinking Ease of Aluminum Beverage Bottle, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol.74, No.737 (2008), pp.134-141.
- (4) Han, J., Itoh, R., Nishiyama, S. and Yamazaki, K., Application of Structural Optimization Technique to Aluminum Beverage Bottle Design, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, Vol.29, No.4 (2005), pp.304-311.
- (5) Tanaka, M., Kawai, K. and Koyama, H., Optimum Design of Plastic Bottle, *Transactions of JSCEs*, Vol.2007, No.2007 (2007), Paper No. 20070005.
- (6) Mark J. L. Orr. "Introduction to Radial Basis Function Network". Radial Basis Function Network. (online), available from <<http://anc.ed.ac.uk/rbf/rbf.html>>, (accessed 2008-10-31).
- (7) Miyaoka, Y., Koike, Y. and Miyaoka, S., Sensory Mechanism for Recognizing the Volume of Bolus in Oral Cavity and Swallowing, *The Japanese Journal of Dysphagia Rehabilitation*, Vol.3, No.1 (1999), pp.3-9.
- (8) National Institute of Bioscience and Human Technology, *Human body dimensions data for ergonomic design* (in Japanese), (1996), Japan Publication Service, pp.81-117.
- (9) Miyaoka, Y., Miyaoka, S. and Yamada, Y., The optimal volume for a swallow in healthy subjects, *The Japanese Journal of Physiology*, Vol.50, No. Supplement (2000), p.146.
- (10) Washio, Y., *Introduction to design of experiments (2nd edition)* (in Japanese), (1997), Japanese Standards Association, pp.187-238.
- (11) Taguchi, G., *Design of experiments (3rd edition)* (in Japanese), (1976), Maruzen, pp.129-130.
- (12) Nakayama, H. "Radial Basis Function Network". Nakayama Laboratory. (online). available from <<http://it.is.konan-u.ac.jp/presemi/RBF.pdf>>, (accessed 2009-2-26).
- (13) Arakawa, M., Nakayama, H., Ishikawa, H., Optimum Design Radial Basis Function Network and Adaptive Range Genetic Algorithms (1st Report, Consideration in Unconstrained Optimization), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol.67, No.655(2001), pp.789-796.
- (14) Yamakawa, H.ed., *Handbook of Optimal Design* (in Japanese), (2003), Asakura Publishing, p.198.